

慣性センサと床反力計による歩行立脚期の下肢関節 モーメント推定法の研究

著者	内藤 望実
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	88
号	1
ページ	206-207
発行年	2019-07
URL	http://hdl.handle.net/10097/00126615

修士学位論文要約（平成31年3月）

慣性センサと床反力計による 歩行立脚期の下肢関節モーメント推定法の研究

内藤 望実

指導教員：渡邊 高志

A Study on Estimation Method of Lower Limb Joint Moments in Stance Phase of Gait Using Inertial Sensors and Force plate

Nozomi NAITO

Supervisor: Takashi WATANABE

Joint moment is an important index for rehabilitation to improve walking function, since it can evaluate muscular strength and compensatory motions of post-stroke hemiplegia. However, a camera-based 3D motion analysis system and a force plate, which are used generally in estimation of joint moment (conventional method), have limitations of measurement environment and require a high cost. Therefore, the purpose of this study was to develop the estimation method of joint moment that would be effective for post-stroke rehabilitation. The method proposed in this study used IMUs and a force plate (IMU-FP method), in which planter center of pressure was estimated in order to calculate center of mass position of each segment. The plantar center of pressure was estimated from foot inclination angle based on experimental results. The IMU-FP Method could estimate appropriately most of joint moments in the stance phase of walking. In addition, the IMU-FP method showed differences in joint moments between walking speeds. Estimated joint moments during simulated hemiplegic gait with cane by healthy subjects showed similar results as those reported by some studies. From these results, the IMU-FP method was considered to become useful for rehabilitation of post-stroke hemiplegia. The estimation method of plantar center of pressure for the case of mid-foot strike is needed to be improved for practical use.

1. はじめに

歩行分析の目的の一つは、身体の障害によりどのような補償動作が余儀なくされ、その動作がどの程度の効果を上げているかを分析することである。下肢関節モーメントはこの補償動作の分析において、対象者が行おうとしている努力を筋力として把握することが可能である。関節モーメントは、一般には3次元動作解析装置とフォースプレートを用いて間接的に推定されるが（以下、一般法と表記）、セッティングの煩雑さ、高額、計測場所が限定されるなどの問題がある。それゆえ、慣性センサとウェアラブルな力覚センサなどによる代替法が提案されているが、計測機器の歩行への影響が懸念される。また、慣性センサのみを用いて関節モーメントを推定する方法も提案されているが、身体に加わる力を床反力のみと仮定しているため、杖や平行棒などを用いた歩行の場合は下肢関節モーメントを推定できない。このように、いずれの方法も、歩行機能の再獲得などを目的としたリハビリテーションでの評価に利用する場合には、十分であるとは言えない。そこで、本研究では病院等で早期から歩行立脚期の関節モーメントを評価できるようにするために、歩行への影響を最小限に抑え、

杖や平行棒を使用した場合にも適用できる推定法として、慣性センサとフォースプレートによる歩行立脚期の下肢関節モーメントの推定法（以下、IMU-FP法と表記）を構築した。そして、一般法での関節モーメント推定結果との比較を行い、臨床現場での実用性に関する検討を行った。

2. 初期接地時の足圧中心位置推定法の検討

関節モーメントの推定には足部・下腿部・大腿部の各部位の重心位置を算出する必要があるが、IMU-FP法では初期接地時に床反力計で計測される圧力中心点と慣性センサで計測される足部傾斜角度により初期接地時の足圧中心位置を推定する方法を構築することで、各部位の重心位置算出の始点となるつま先位置を算出する。この方法を構築するため、健常被験者5名で直線歩行（歩行速度3段階、各5試行）とつま先接地歩行（足関節底屈大・底屈小、各5試行）を計測した。計測には、3次元動作解析装置とフォースプレート、無線慣性センサを用いた。ここで、足圧中心位置は踵位置を原点とした場合の圧力中心点であり、踵に取り付けたマーカの位置を3次元動作解析装置で計測し、圧力中心点をフォースプレートにより計測した。

計測した初期接地時の足圧中心位置と足部傾斜角度の関係を図 1 に示す。足圧中心位置は被験者毎に実測した足部長で正規化した。足圧中心位置と足部傾斜角度の関係から、初期接地状態を踵接地（足部傾斜角度が -10deg 未満）、足底接地（足部傾斜角度が $\pm 10\text{deg}$ 以内）、つま先接地（足部傾斜角度が 10deg を超える）に分類し、それぞれの接地状況に応じて、足圧中心位置を推定する方法を提案した。図 1 の実線はその推定値である。まず、踵接地の場合、初期接地時の足圧中心位置は踵から足部長の 10% 付近の位置であったため、足圧中心位置が 10% の位置として踵位置を算出し、つま先位置を算出した。次に、つま先接地の場合、足圧中心位置はつま先付近に位置したため、つま先位置にあるとした。足底接地の場合は、図 1 の結果をシグモイド関数で近似し、その近似式を用いて足圧中心位置を推定した。この推定法による足圧中心位置推定誤差を図 2 に示す。その結果、踵接地とつま先接地の場合は足圧中心位置推定誤差が $\pm 2.5\text{cm}$ 以内に分布したのに対し、足底接地では 63 試行中 7 試行の足圧中心位置推定誤差が $\pm 2.5\text{cm}$ を超える範囲に分布した。

3. 下肢関節モーメントの推定

前節で構築した足圧中心位置推定法を用いて下肢関節モーメントの推定を行った。前述の 5 名の被験者で計測した全試行について、IMU-FP 法で推定した関節モーメントと一般法による推定値を比較した。体重の異なる被験者間での比較を行うため、関節モーメントの推定結果を体重で除算し、正規化した後に RMS 差を計算した。算出した RMS 差を、直線歩行とつま先接地歩行に分けて図 3 に示す。その結果、直線歩行の場合、下肢関節モーメントは近位の関節ほど RMS 差が増大し、股関節では最大で 0.35 Nm/kg 程度となった。また、つま先接地歩行では RMS 差は最大で 0.5 Nm/kg 程度となり足関節モーメントの RMS 差も直線歩行よりも増加していることが分かる。つま先接地歩行の場合に足関節モーメントの RMS 差が増加した原因として、足底接地時の足圧中心位置推定誤差の大きい 7 試行が含まれていたことが考えられる。これらの 7 試行を除くと、RMS 差は最大で 0.35 Nm/kg 程度になったことから、足底接地の場合の足圧中心位置推定法を改善することで、提案方法は有効になると考えられる。また、直線歩行の速度毎の各関節のモーメント波形を比較すると、歩行速度の増加に伴い、立脚後期の足関節底屈モーメントの増加と股関節屈曲モーメントの増加が見られ、片麻痺者模擬歩行では関節モーメントによる歩行速度の変化を調査した過去の報告²⁾と同様の傾向を示したことから、IMU-FP 法は有効になると期待される。

4. まとめ

本研究では、慣性センサと床反力計を用いて関節モーメントを推定する方法を構築し、健康者の歩行立脚期の下肢関節モーメントを推定し、一般法との比較を行った。その結果、足底接地の場合の足圧中心位置推定法を改善することが課題であるが、異なる歩行速度や片麻痺者模擬歩行での関節モーメントの違いが過去の報告と同様であったことから、リハビリテーションにおいても有効になると考えられる。

文献

- 1) 臨床歩行分析研究会 編：関節モーメントによる歩行分析，医歯薬出版株式会社，3-24，(1997)。
- 2) Jessica L. Allen, Steven A. Kautz, Richard R. Neptune, “Step length asymmetry is representative of compensatory mechanisms used in post-stroke hemiparetic walking,” *Gait & Posture*, vol.33, No.4, pp.538–543 (2011)

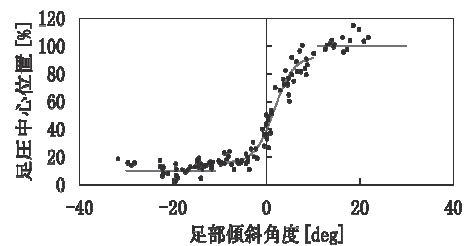


図 1 初期接地時の足圧中心位置と推定値

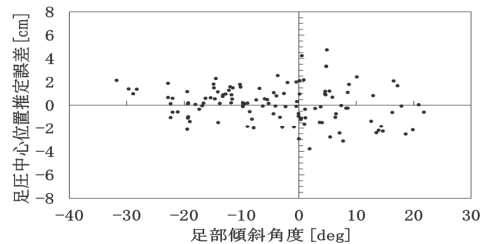


図 2 足圧中心位置推定誤差

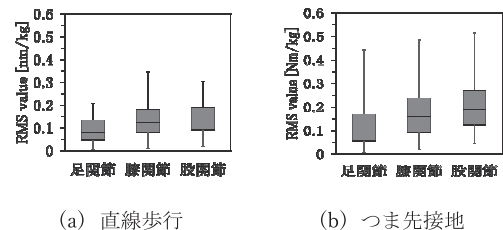


図 3 関節モーメントの RMS 差